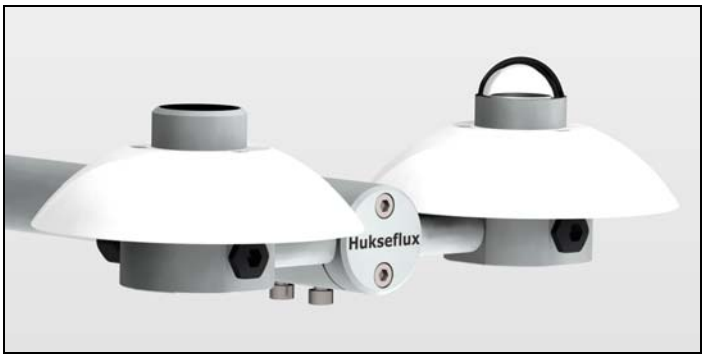
４成分放射収支計/２成分放射計　CHF-NR01/RA01

取扱説明書

Rev 1.0

2009年11月



Based ON
NR01 RA01 取扱説明書 v0816r01
Edited & Copyright by:
Hukseflux Thermal Sensors
http://www.hukseflux.com
e-mail: info@hukseflux.com

Climater

クリマテック　株式会社
〒171-0014　東京都豊島区池袋 2-54-1　東拓ビル 4F

Tel　03－3988－6616
Fax　03－3988－6613
E-mail　support@weather.co.jp
URL　http://www.weather.co.jp/

警告：

警告と安全性について

NR01/RA01 は受動的なセンサーであり、原則として電源は必要としません(アンプ内蔵型を除く)。 ただし、ユーザーが付属のヒーターを使用する場合、電源供給が必要です。

NR01/RA01 のセンサーまたはヒーター配線に 12 ボルト以上の電圧を加えると、センサーまたはヒーターへの永久的な損傷を与えることになります。

目次

	記号／用語一覧	4
	概要	5
1	**梱包内容の確認**	**10**
1.1	部品の確認	10
1.2	計器の機能	10
2	**計器原理**	**12**
2.1	全般	12
2.2	NR01 構造	14
2.3	日射計	14
2.4	赤外放射計	17
2.5	予想される測定結果	19
2.6	ヒーティング	20
2.7	データの品質確保	21
3	**仕様　NR01 / RA01**	**22**
3.1	4 成分放射収支計 NR01 と 2 成分放射計 RA01 一般仕様	23
3.2	SR01 日射計 仕様	24
3.3	IR01 赤外放射計 仕様	25
4	**設置**	**26**
4.1	設置	26
4.2	電気的接続	27
4.3	放射スクリーンの設置	29
4.4	計器反転テスト	30
5	**寸法**	**31**
6	**保守およびトラブルシューティング**	**32**
6.1	保守	32
6.2	トラブルシューティング	33
7	**データ収集／増幅のための要件**	**34**
8	**付録**	**35**
8.1	付録　ケーブル延長/交換	35
8.2	付録　日射計の校正	36
8.3	付録　赤外放射計の校正	38
8.4	付録　キャンベルロガーとの使用方法	38
8.5	CE 適合宣言	40

記号/用語一覧

全般： このマニュアルは、主として NR01 について記述しています。 RA01 は NR01 の上部センサーのみで構成されています。

赤外放射（長波放射）	**LW**
日射（太陽放射、短波放射）	**SW**
正味放射	**NR**

符号： 地表面のエネルギーに寄与している場合、ポジティブです。
例えば： SW_{in}（-in は下向き短波放射）は、一般的に＋またはポジティブで、$pyrano_{up}$（-up は上向き日射計）により測定されます。

電圧出力	U	μV
感度	E	$\mu V/Wm^{-2}$
温度（場合により、℃または、絶対温度 K）	T	° C or K
温度差	ΔT	K
電気抵抗/インピーダンス	R_e	Ω
放射強度（LW or SW）	Φ	W/m^2
放射の波長	n	nm
放射の積算値	S	J/ m^2
方向誤差	-	%

添字

sen	**センサー**
pyrano / pyrgeo	**日射計/赤外放射計**
heat	**ヒーター**
up	**上側計器**
down	**下側計器**
in	**入射または下向き放射**
out	**射出または上向き放射**
temp	**温度センサー**

概要

NR01 は、熱収支などの研究において最も重要な正味放射量を長波放射と短波放射の各成分に分けて測定するために使用される４成分放射収支計です。
RA01 センサーは、NR01 センサーの片側版(上面または下面のみ)です。

以下の取扱説明書では主に、NR01 について記述しています。 RA01 の相違点については、特別な章で説明しています。

NR01 は太陽放射(短波)と赤外放射（長波）の 2 つの成分を別個に測定することができます。また、正味放射量の測定において、また、放射主要 4 成分の測定において、高精度な測定法です。 NR01 は頑丈で、最低限のメンテナンスだけで動作します。

正味放射量をの長短波別々の成分から測定することは非常に有益です。その理由は以下の通りです。

- 別々の波長帯について校正された計測器を使用することにより精度が向上します（同様な精度は、単一出力または 2 出力の放射収支計では達成できません）。１成分（短波から長波まで検知する）放射収支計は、短波と長波の感度差エラーによる悪影響があります。
- より多くの気象状況を判断するのに有用な情報を提供します。例えば、アルベド、雲の状況、地面の状況など（１成分放射収支計と比較した場合）です。
- 計器計測データの遠隔品質保証に適切な情報を提供します（１成分放射収支計に比較した場合）。 すなわち、データ品質はコンピュータによる放射計データの解析から確認できます。 4 成分の放射計による品質保証は、SW_{in} 絶対信号、SW アルベドのトレンド，SW_{in} と LW_{in}、SW 夜間信号との相関、および LW_{out} と地表面温度との相関を分析することによって得ることができます。

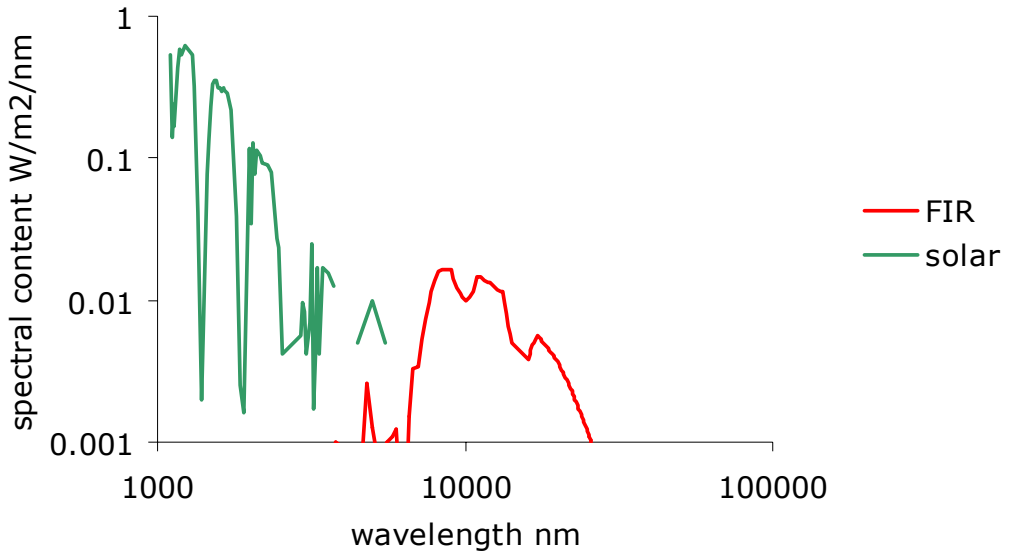


図 0.1　*大気放射の波長*

短波または日射（太陽放射）は主に、300 から 3000㎚ までの領域で存在するのに対して、長波または赤外放射は、主に、4500 から 50000㎚ までの領域で存在します。 この二つ波長帯は NR01 により別々に測定されます。

対抗する機種に比べて、軽量化、太陽光による長波放射のオフセット減少、容易な水準調整（2 軸水準器が付属）という点が改善されました。

NR01 センサーは、地表面放射収支の 4 つの成分を別個に測定できます。熱電堆（サーモパイルセンサー）の使用により、完全に受動型センサーとしてはたらき、入出力する長短波フラックスに比例して、微弱な４つの電圧を発生させ、以下の計測ができます。

SW_{in}（ 全天日射）、
SW_{out}（反射日射）、
LW_{in}（空からの赤外放射）、
LW_{out}（地表面からの赤外放射）。

これらから、短波放射による ” アルベド ” 、長波放射による ” 大気温度 ” 、 ” 地表面温度 ” また、総合計として ” 正味放射 ” （短長波フラックスの正味の値）等のパラメータが計算できます。

短波放射(SW)センサーは、日射計（タイプ SR01）と呼ばれ、長波放射(LW)センサーは赤外放射計と呼ばれます（タイプ IR01）。
長波放射補正計算のために、Pt100 温度センサーが、赤外放射計に内蔵されています。また、結露防止のため、ヒーターも内蔵されています。.

NR01 は、水平設置を必要としており、 調整のために 2 軸の水準器が付属しています。詳しくは、４章の設置を参照してください。

NR01 のケーブルはユーザーにより容易に取り付け、交換が可能です。
ケーブルは、日射計と赤外放射計接続部内部にねじ止めされています。

RA01 は、NR01 の片側バージョンです。
RA01 も正味放射の評価用で、特に、局所的な地表面の特性がない場合、またはシステムコストの低減が必要とされる場合に使用されます 。 ただし、正味放射測定のために RA01 センサーを単体で使用する場合、もう１方向の短波放射(SW_{out})（またはアルベド） および長波放射(LW_{out})は、ユーザーにより推定される必要があります。NR01 で測定される下向き放射（空からの放射）は代表性があるので、RA01 を下向きに使用して地面からの上向き放射を測定することにより、多点の正味放射を安価に構築することができます

NR01 センサーの使用法は簡単です。 読み出しのために、4 チャンネルの正確な電圧計が必要なだけです。もし、空温度または地表面温度が必要であれば、Pt100 温度センサーの値が必要です。 電源が入手可能であれば、日没から日の出までの夜間に結露防止用ヒーターへの電源供給が推奨されます。
NR01 は 4 つのセンサーそれぞれに感度係数が付属しています。放射量を計算するためには、センサー出力電圧 U を、センサー感度 E で割る必要があります。定数 E は個々のセンサーに付属しています。
例：

$$\Phi = SW_{in} = U_{pyrano,\,up} \;/\; E_{pyrano,\,up} \qquad 0.1$$

より詳細な情報は、次章以降を参照してください。

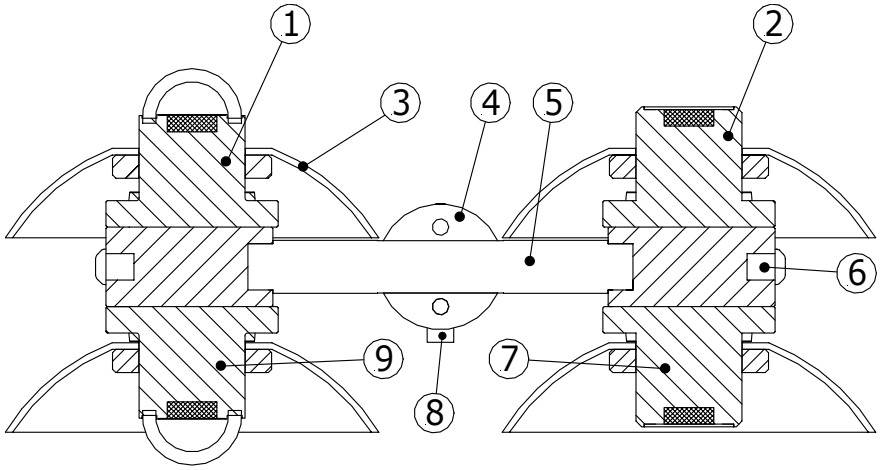


図 0.2 ***NR01 ４成分放射収支計***
①⑨短波放射センサー（SW）／日射計，②⑦長波放射センサー（LW）／赤外放射計 ③放射シールド、④⑤⑧水準調整器 x 軸 y 軸、⑥本体接続部

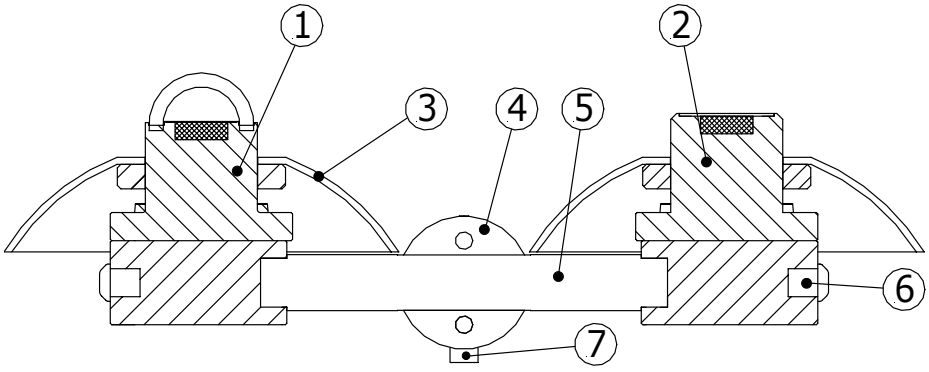


図 0.3 ***RA01 ２成分放射計***
①短波放射センサー（SW）／日射計，②長波放射センサー／赤外放射計 ④⑤⑦放射シールド③ 水準調整器 x 軸 y 軸 、⑥本体接続部

NR01 放射収支計は、ほとんどの一般的なデータ収集システムと直接接続できます。 このセンサーは全天候性であり、CE 規定に準拠します。

ユーザーは Pt100 の代わりにユーザー自身の温度センサーを実装することも可能です。ハウジングの中に温度センサーを挿入することが可能です。

1　梱包内容の確認

1.1　部品の確認

次の各部品がそろっていることを確認してください。:

－NR01 ４成分放射収支計 （または RA01２成分放射計)
－ご注文した長さのケーブル
－シリアル番号と一致している校正書
－六角レンチ
－ご注文のオプション部品

校正書は安全な場所に保管してください。

1.2　計器の機能

計器のテストは、テスター（マルチメータ）を用いて行うことができます。

NR01 の電気配線図が含まれる 4.2 章を参照してください。

1 日射計

1)　プラス (+)とマイナス(-)の配線間を測定して、センサーのインピーダンスをチェックします。テスターの 200 オームレンジを使用してください。最初にセンサーの片側の抵抗をを測定後、極性を逆にして測定値を平均してください。ケーブルの標準的なインピーダンスは 0.1 オーム/m です。測定値は、センサーのインピーダンス 40-60 オームに 2 本のケーブルインピーダンス 3 オーム（各 10m）を合計した値になるはずです。測定値が無限大の場合は開回路を示します。 ゼロは短絡を示します。
2)　センサーが光に反応するかチェックします: テスターの DC 電圧測定最小レンジを使用してください。（通常 100mV レンジまたはそれ以下）
3)　屋外では太陽光をセンサーにあてるか、室内ではセンサーに強い光源をあてます。たとえば 100 ワット電球を 10 センチメートルの距離で照らしてください。電圧は数ミリボルトを示すはずです。
4)　太陽光の下ではセンサーを何かで覆うか、室内では光源のスイッチを切って暗くしてください。センサーの電圧出力は下がり、1 分以内で 0mV に近づきます。

2 赤外放射計:
1) 赤外放射計の基本チェック
　1.1 プラス(+)と マイナス(-)の配線間を測定して、センサーのインピーダンスをチェックします。テスターの 200 オームレンジを使用してください。最初にセンサーを測定後、極性を逆にして測定値を平均してください。ケーブルの標準的なインピーダンスは 0.1 オーム/m です。測定値は、センサーのインピーダンス 100-400 オー

ムに 2 本のケーブルインピーダンス 3 オーム（各 10m）を合計した値になるはずです。測定値が無限大の場合は開回路を示します。 ゼロは短絡を示します。

2) センサーが熱に反応するかチェック

テスターを DC 電圧の測定最小レンジに設定してください（通常１００mV レンジまたはそれ以下）。センサーに強い熱源をあてます。たとえば熱いコーヒーカップを２センチメートルの距離に近づけてください。電圧は数ミリボルトを示すはずです（同様に、手のひらを近づけると０．数ミリボルト上昇します。

センサーをアルミホイルのような物で覆って、センサー温度を下げてください。センサーの電圧出力は下がり、1 分以内で 0mV に近づきます。

3) Pt100

① Pt100 は 4 本のケーブルが接続されています； （+）と（+）の間の抵抗測定によりケーブルインピーダンスが求められます； 約 2 オーム、同（-）と(-)も同様に測定可能です。

②（+）と（-）の間のインピーダンスを測定します。 結果は室温では約 100～110 オームあるはずです。

4) ヒーター

ヒーターの抵抗（インピーダンス）は 約 90 オームあるはずです。

より詳細なインストールおよびトラブルシューティングは、6 章を参照してください。

データロガーのプログラミングおよび接続はユーザーの責任で行ってください。 お客様のシステムで利用可能であるかどうかは、販売元へお問い合わせください。

NR01 放射収支計のをキャンベル社のデータロガー（CR1000,CR800 など）で計測するためのサンプルプログラムは販売元にお問い合わせください。

2 計器原理

この章では NR01 の計器原理を説明します。 日射計と赤外放射計は、別々の章で記述されます。 最後の章は、予想される測定結果について記述します。

2.1 全般

NR01 センサーの最も一般的な使用法は、正味放射量の測定です。 正味放射の 4 成分が測定され、正味放射量は計算で求めることができます：

注意： 次の式では温度 T の単位は絶対温度ケルビンです。 摂氏温度℃より絶対温度 T に換算するには、273.15 を加算してください。

以下は正味放射の 4 成分です。

$$SW_{in} = U_{pyrano,\ up} \ / \ E_{pyrano,\ up} \qquad 2.1.1$$

$$SW_{out} = U_{pyrano,\ down} \ / \ E_{pyrano,\ down} \qquad 2.1.2$$

$$LW_{in} = (U_{pyrgeo,\ up} \ / \ E_{pyrgeo,\ up}) + 5.67.10^{-8} \ (T_{pyrgeo})^4 \qquad 2.1.3$$

$$LW_{out} = (U_{pyrgeo,\ down} \ / \ E_{pyrgeo,\ down}) + 5.67.10^{-8} \ (T_{pyrgeo})^4 \qquad 2.1.4$$

以下は、正味放射のうち、短波放射と長波放射の収支量です。
注意：LW_{net} において、計器温度はキャンセルされます：

$$LW_{net} = U_{pyrgeo,\ up} \ / \ E_{pyrgeo,\ up} \ - \ U_{pyrgeo,\ down} \ / \ E_{pyrgeo,\ down} \qquad 2.1.5$$

$$SW_{net} = U_{pyrano,\ up} \ / \ E_{pyrano,\ up} \ - \ U_{pyrano,\ down} \ / \ E_{pyrano,\ down} \qquad 2.1.6$$

正味放射量は以下の通りです

$$NR = SW_{net} + LW_{net} \qquad 2.1.7$$
$$= U_{pyrgeo,\ up} \ / \ E_{pyrgeo,\ up} \ - \ U_{pyrgeo,\ down} \ / \ E_{pyrgeo,\ down} \ +$$
$$U_{pyrano,\ up} \ / \ E_{pyrano,\ up} \ - \ U_{pyrano,\ down} \ / \ E_{pyrano,\ down}$$

NR01 放射収支計により、アルベドを求めることもできます。

$$\text{SW albedo} = SW_{in} / SW_{out} \qquad 2.1.8$$

また、以下の地表面温度と空温度を数値上求めることも可能です。

$$T_{surface} = (LW_{out} / 5.67.10^{-8})^{1/4} \qquad 2.1.9$$

$$T_{sky} = (LW_{in} / 5.67.10^{-8})^{1/4} \qquad 2.1.10$$

RA01 は上向きに設置した場合、SW albedo と $T_{surface}$ は他の観測値、推定値から計算され、正味放射量 NR は、これらに、RA01 の観測値 SW_{in} と LW_{in} の値を加えることで計算できます。
SW albedo は、一般的に、一定値と仮定され，衛星の観測結果より得られます。 $T_{surface}$ はしばしば、地上気象観測の気温から計算されます。

2.2 NR01 構造

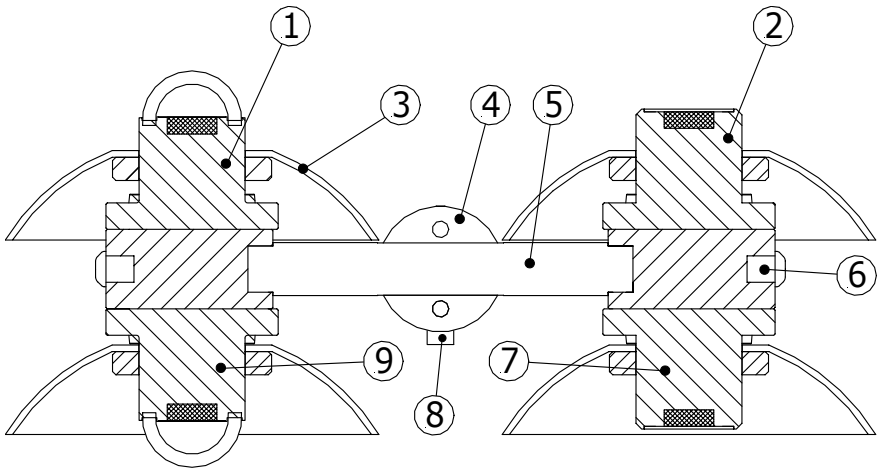


図 2.2.1: *NR01 4成分放射収支計*

① SW_{in} 短波放射センサー、または日射計,
② LW_{in} 長波放射センサー、または赤外放射計
③ 放射シールド,
④ 水準調整器 x 軸 y 軸，x 軸調整ボルト
⑤ 水準調整器 x 軸 y 軸，水平ロッド
⑥ 本体接続部，Pt100 温度センサー，ヒーター および ユーザーの温度センサー取り付け用穴 (ケーブルグランド M8)を含む
⑦ LW_{out} 長波放射センサー、または赤外放射計,
⑧ 水準調整器 x 軸 y 軸，y 軸調整ボルト
⑨ SW_{out} 短波放射センサー、または日射計

水準器は放射スクリーンの下にあります。

2.3 日射計

全天日射計は 180 度の視野からの日射光を測定します。太陽の放射スペクトルはおよそ 300－2800nm の範囲にエネルギーが集中しています。 したがって全天日射計はできるだけこの波長範囲に ” フラット ” なスペクトル感度である必要があります。

フラックス測定において、定義上、 ” ビーム ” 放射への応答は、入射角のコサインに比例することが要求されます、すなわち、日射がセンサーに対して垂直に入射する時はフル応答(表面に対して、天頂の太陽は 0 度の入射角)、太陽が地平線にあるときはゼロ応答(90 度の入射角)、そして 60 度の入射角の場合、0.5 の応答となります。
定義から、全天日射計は理想的なコサインの特性に近い “ 方向特性 ” あるいは “ コサイン特性 ” を持つべきであるということになります。

適切な方向特性とスペクトル特性を持つように、全天日射計の主な構成は以下のようになっています。

1 黒色塗装熱電堆センサー
　このセンサーは、すべての日射を吸収して、300～50000 ナノメートルの平坦なスペクトルをカバー、ほぼ完全なコサイン特性を持っています。
2 ガラスドーム
　このドームは 180 度の視野の間、スペクトル応答を 300～2800 ナノメートルに制限します(2800nm より高い部分をカットオフ)。 ドームの別の機能として、対流から熱電堆センサーを保護しています。

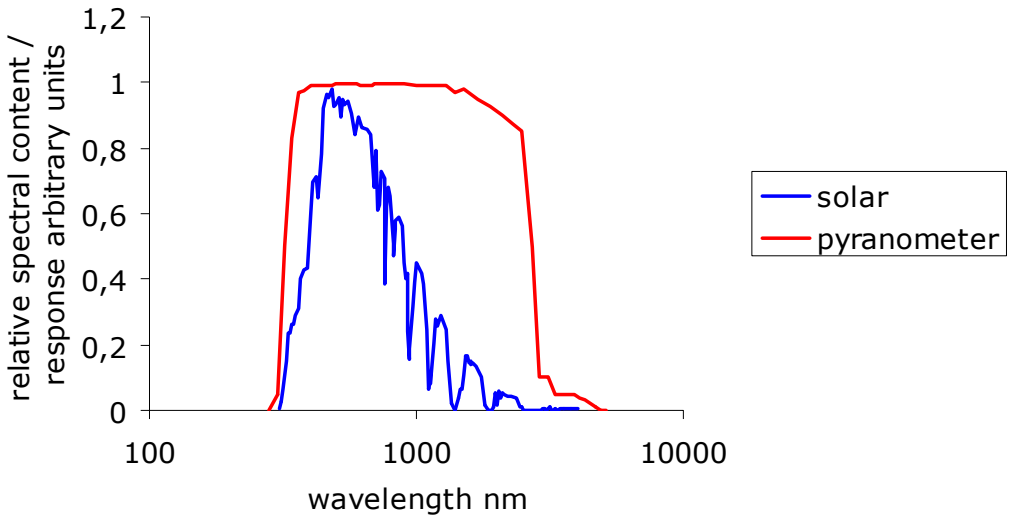


図 2.3.1　全天日射計のスペクトル応答と太陽スペクトルの比較。
全天日射計は全太陽スペクトルの無視できる部分をカットオフするだけです。

熱電堆センサー上の黒色塗装は日射を吸収します。 この日射は、熱に変換されます。熱はセンサーを通して日射計のハウジングに流れます。 熱電堆センサーは日射に比例して電圧出力信号を発生します。

熱電堆センサーは日射に比例して電圧出力信号を発生します。

$$SW_{in} = U_{pyrano,\ up} \ / \ E_{pyrano,\ up} \qquad 2.3.1$$

NR01 の場合、日射計はタイプ SR01 です。 これは WMO と ISO に準拠したセカンドクラスの日射計です（ISO9060）。

大気放射は、直達放射（太陽からのビーム）と直達以外の散乱放射（空からの）の２つの成分から成ります。
下向き計器； 日射の地表面による反射は、地表面はの局所的な表面特性に依存しています。

もし直達放射のある状況であれば、この直達放射がしばしばエネルギーの源となります。 太陽の位置は日の出から日没まで変化するので、日射計は、方向特性がとても重要なことを示しています。
短波放射センサーSR01 の主な測定エラーは、以下のテーブルに要約されます。
方向特性のエラーは、ドームとコーティングの不完全な光学的特性により発生します。
赤外オフセットは、低温の空温度によるガラスドームの冷却によって起こされます。
ドームと空の間の長波放射バランスは、マイナスです。 ドームは冷却され、マイナスのセンサーオフセットを発生させます。

表 2.3.1 短波放射計(日射計 *SW 信号)での主な測定エラー*

エラー	最大エラー
方向特性	+/- 30 W/m² (日射量 SW_{in}) 実際上は +/- 15 W/m² (日射量 SW_{in} 1000 W/m² において)
赤外放射によるオフセット	- 15 W/m² on SW_{in} (-200 W/m² 正味長波放射 LW_{net} において)
温度依存性	+/- 5 % （全範囲）

2.4 赤外放射計

赤外放射計は、180 度の視野から遠赤外放射または長波放射フラックスを測定します。大気の長波放射スペクトルは約 4500nm から 50000nm まで広がっています。 したがって、赤外放射計は、できる限り ” フラット ” なスペクトル感度で測定波長範囲をカバーする必要があります。
フラックス測定において、定義上、 ” ビーム ” 放射への応答は、入射角のコサインに比例することが要求されます； すなわち、放射がセンサーに対して垂直に入射する時はフル応答(表面に対して、天頂の放射源(ソース)は 0 度の入射角)、放射が水平から来るときはゼロ応答(90 度の入射角)、そして 60 度の入射角の場合、0.5 の応答となります。
定義から、赤外放射計は理想的なコサインの特性に近い “ 方向特性 ” あるいは “ コサイン特性 ” を持つべきであるということになります。
適切な方向特性とスペクトル特性を持つように、赤外放射計の主な構成は以下のようになっています。

1 黒色塗装熱電堆センサー
このセンサーは、すべての長波、短波放射を吸収して、300～50000nm の平坦なスペクトルをカバー、ほぼ完全なコサイン特性を持っています。
2 シリコンウインドウ（日射カット）
このウインドウは、150 度の視野の間（理想的な 180 度でなく）、スペクトル応答を 4500～50000 ナノメートルに制限します(4500nm より低い部分をカットオフ)。ウインドウの別の機能として、対流から熱電堆センサーを保護しています。

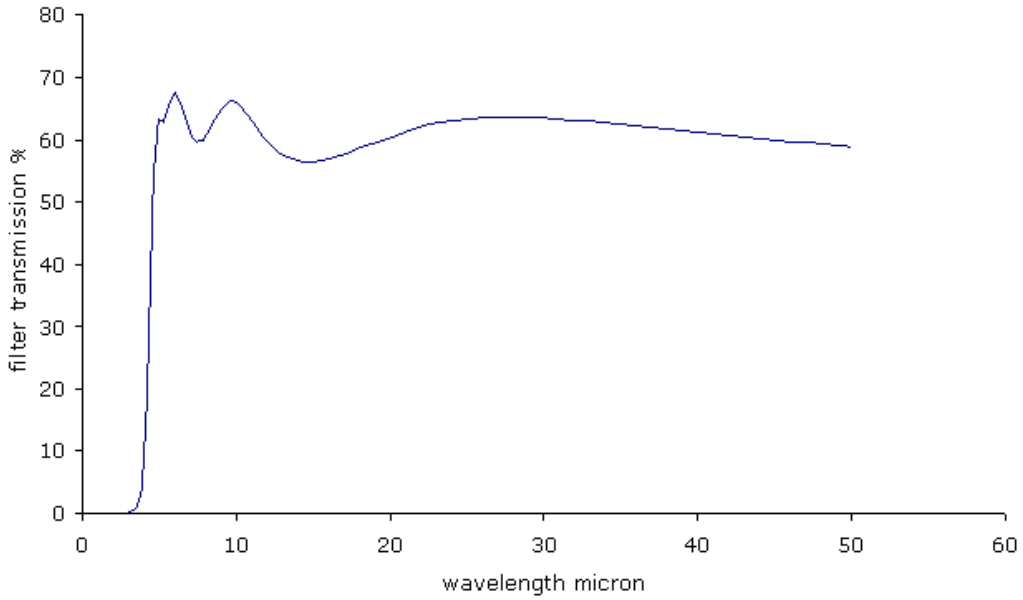


図 2.4.1 *大気長波放射スペクトル範囲における赤外放射計のスペクトル応答性*

.
熱電堆センサーにおける黒のコーティングは長波放射を吸収します。 この放射は、熱に変換されます。 熱はセンサーを通してハウジングに流れます。熱電堆センサーはセンサーと対象物間の長波放射に比例した電圧信号を発生します。しかし、センサー自身も長波放射を放出します（黒体放射におけるプランクの法則による）、従って、赤外放射計の熱電堆信号出力は入力する放射から自身の放射をマイナスした値となりま

す。自身の放射を推定するため、赤外放射計の温度は Pt100 温度センサーにより独立に測定されます。下向き長波放射量は以下の通りです。

$LW_{in} = (U_{pyrgeo,\ up} / E_{pyrgeo,\ up}) + 5.67.10^{-8} (T_{pyrgeo})^4$ 2.1.3

上向き長波放射量 LW_{out} も、同様な式がとなります。T_{pyrgeo} は絶対温度（ケルビン）です。

長波放射計のの視野内にある物体の温度は、これらが均一温度の黒体（ 1 の放出係数）と仮定すると計算することができます。
例えば、空の温度は、絶対温度（ケルビン）で次式となります：

$T_{sky} = (LW_{in} /5.67.10^{-8})^{1/4}$ 2.1.8

NR01 の場合、赤外放射計のタイプは IR01 です。 赤外放射計は ISO または WMO によってクラス分類されていません。

大気の長波放射 LW_{in} は本質的に 2 つの成分から成ります：

1　大気によりフィルタをかけられた宇宙からの低温度放射。大気はこの放射を、いわゆる大気の窓領域では透過させます（約 10～15μｍの波長領域）。
２　大気構成ガス成分（空気）により射出されたより高温の長波放射。

下向きのセンサーは地表面を直接見ていると仮定され、通常黒体と仮定されます。

空は、第一の近似として、冷たい温度源（ソース）と考えられ、天頂で最も低い温度、地平線でより暖かくなります。この長波放射 LW の均一性は、太陽放射の短波放射領域（SW）よりもよい結果となります。短波放射領域では太陽がその不均一性の主たる原因となっています。
センサー水平面に対する地平線付近の長波放射の寄与率が小さいことを考えると、赤外放射計が 150 度の視野でも、かなりよい測定が行えることを説明しています。

長波放射計 IR01 の主たる測定エラーは、下表に要約されます。
方向特性のエラーは、不完全な視野により起因しています。
シリコンウィンドウ加熱オフセットは太陽放射の加熱により、プラスのセンサーオフセットを発生します。

表 2.4.1 長波放射計（赤外放射計 *LW）信号の主な測定エラー*

ソース	最大エラー
方向特性	8 W/m^2 on LW_{in} at -100 W/m^2 LW_{net}
ウィンドウ加熱オフセット	+15 W/m^2 on LW_{in} at 1000 W/m^2 SW_{in}
温度依存性	±5 %　（全てのレンジ）

2.5 予想される測定結果

地表面の平均的なエネルギー収支は以下の要素に強く依存します
- **緯度（特に短波放射 SW）**
- **局所的な地表面特性（短波放射 SW と長波放射 LW）**
- **局所的な地表面温度（長波放射 LW）**

地球全体の平均値は下表に要約されます。 地表面の平均的な正味放射量は正で、残留エネルギーは、熱輸送の対流と蒸発のために使われます。

表 2.5.1 ***地表面の平均グローバル放射量.***

短波放射			長波放射			正味放射
入力 SW_{in}	出力 SW_{out}	収支 SW_{net}	入力 LW_{in}	出力 LW_{out}	収支 LW_{net}	収支 Net
W/m^2	W/m^2	W/m^2	W/m^2	W/m^2	W/m^2	W/m^2
198	- 30	168	324	-390	-66	102

390 W/m2 は 14°Cの地表面温度に相当しています
324 W/m2 は 2°Cの空温度に相当しています
注意： 表 2.5.2 と比較した場合： 表 2.5.1 では、長波放射値はセンサー温度（ボディー温度）で補正されています。

小さい時間スケールで、最も重要要因は以下の２点です
- 太陽の位置
- 雲の状態

雲底温度は地表面温度とともにドリフトする傾向があるので、周囲の気温はそれほど重要ではありません。

表 2.5.2 *NR01 測定時の期待されるセンサー出力.*

日中 夜間	雲の 有無	気温	長波↓ 下向#	長波↑ 上向#	短波↓ 下向#	短波↑ 上向#	空 温度 T_{sky}	地表面 温度 T_{ground}
		°C	W/m²	W/m²	W/m²	W/m²	°C	°C
日中	曇り	+20	0	0	0-500	0-150	20	+20
		-20	0	0	0-500	0-150	-20	-20
	晴れ	+20	-70**	0	0-1500	0-400	+1	+20
		-20	-70**	0	0-1500	0-400	-50	-20
夜間	曇り	+20	0	0	0	0	20	+20
		-20	0	0	0	0	-20	-20
	晴れ	+20	-70*	0	0***	0	+1	+20
		-20	-70*	0	0***	0	50	-20

高低それぞれの気温について、日中／夜間および曇り／晴れの状況での結果を整理しています。計器温度は気温と等しいとみなされます。
 # 長波放射 LW 信号は温度補償なしのセンサー出力です。修正量の例として：14°Cのセンサー温度と仮定すると、385 W／m2 が赤外放射計の信号に加算されます。
赤外放射の上向きを使う必要はないという議論がありますが、確かにほとんどの場合値はそれほど大きくありません。しかしながら、センサー温度が地表面温度からかけ離れてきた場合、有効です。例えば、夜間の放射冷却状態の地表面や、気温が急激に変わる場合または、微風で日射量が大きい場合などです。
**** 結露に影響される場合があります。この場合、信号が 0 W／m2 に低下し、最大エラーは+100 W／m2 に達します。結露を避けるために、ヒーターを作動させることを推奨します。***
***** ウィンドウ加熱オフセットにより、最大エラー +15 W／m2 まで影響される場合があります。***
****** 赤外放射による冷却オフセットにより、最大エラー -25 W／m2 まで影響される場合があります。***

2.6 ヒーティング

赤外放射計の本体上下接続部にはヒーターが取り付けられています。ヒーターの目的は、夜間の結露を避けることです。もし可能であれば、リレーとタイマーにより、日没後の夜間だけ加熱することが推奨されます。（日射量が 20W／m2 未満）。

2.7 データの品質確保

4 成分放射収支計 NR01 の品質確保は、以下により行います

- **短波放射 SW_{in} 絶対信号のトレンド分析**
- **短波放射 SW のアルベド**
- **短波放射 SW_{in} と長波放射 LW_{in} の相関**
- **短波放射 SW 夜間信号**
- **長波放射 LW_{out} と地表面温度の相関。**

基本的には、どのような非現実的な値にでも注意するべきです。

データスクリーニングを自動的に行うプログラムがあります；
http://www.dqms.comを参照してください。

3 仕様 NR01 / RA01

NR01 は 4 成分収支計で、2 つの日射計 SR01、2 つの赤外放射計 IR01、ヒーター、および Pt100 温度センサーで構成されています。
RA01 は 2 成分の放射センサーで、1 つの日射計、1 つの赤外放射計、ヒーター、および Pt100 で構成されています。
これらのセンサーは、適切なデータ収集装置と組み合わせてお使いください。

3.1 4 成分放射収支計 NR01 と 2 成分放射計 RA01 一般仕様

表 3.1.1 *NR01 / RA01 一般仕様*

NR01 AND RA01 仕様	
ISO / WMO 等級	日射計と赤外放射計の仕様参照
精度	± 10 % （日中・夜間の 12 時間合計の場合）
動作温度範囲	-40 to +80 °C
日射計	SR01，表 3.2.1 参照
赤外放射計	IR01，表 3.3.1 参照
感度	全センサーは個別に校正係数が付属
長波放射本体温度計種類	Pt100 DIN class A
長波放射本体温度計種類精度	± 1 °C 以内 (適切な測定装置使用の場合)
長波放射本体温度計種類オプション	赤外放射計の本体にユーザー自身で用意した温度センサーを実装できます。 グランド M12 x 1.5
ヒーター	90 Ohms，1.6 W@12 VDC
2 軸水準器	六角ネジ止め サイズ 2.0mm パイプサイズ 3/4 inch NPS
放射スクリーン	4 個付属(RA01: 2 個)
測定方法	日射計と赤外放射計のmV 測定（差動またはシングルエンド）．Pt100 の測定． プログラミング: 放射フラックス／温度 オプション: ヒーター用電源
ケーブルグランド	ケーブル直径 3 ～ 6.5 mm
ケーブル交換	ユーザにて交換可能
ケーブル延長	要望に応じてより長いケーブルを供給できます。 追加ケーブル長（メーター数）を指定してください。
標準ケーブル 長さ/直径	5 meters / 5.4 mmφ (2 cables)
5m のケーブルを含む重さ	NR01: 1.3 kg (10(5) m ケーブルを含む) NR01: 0.9 kg (ケーブルを除く) RA01: 1 kg(10(5) m ケーブルを含む)
寸法	263 x 113 x 121 mm
推奨する校正間隔	2 年毎
CE 規定	NR01 、 RA01 は CE 規定に準拠

3.2 SR01 日射計 仕様

表 3.2.1 *仕様 日射計 SR01*

SR01 ISO / WMO 仕様	
ISO 9060 / WMO 等級	セカンドクラス 日射計
応答時間(95 %)	18 s
ゼロオフセット a (200 W/m2 正味放射対して)	< 15 W/m2
ゼロオフセット b (5 k/h 気温変化に対して)	<4 W/m^2
安定性	< 1% 年間
リニアリティ	< ± 2.5%
ビーム放射の方向特性	< ± 25 W/m^2
スペクトル選択性	± 5% (305 to 2000 nm)
温度応答 (50°C変化に対して)	6% 以内(-10 to +40 °C)
傾き応答	< ± 2%
SR01 追加測定仕様	
感度	10-40 μV/Wm^{-2}
出力電圧	-0.1 to + 60 mV（太陽光の場合）
センサ抵抗	40 ～ 60 Ohms(トリミングなしの場合)
電 源	不要 (受動型センサー)
レンジ	～2000 Wm^{-2}
測定波長範囲	305 to 2800 nm (50% 透過ポイント)
プログラミング	Φ = U / E
精度（日合計）	+/- 5%（標準）+/- 10%（最大）
校正	
校正トレーサビリティー	WRR，ISO 9847 による

3.3 IR01 赤外放射計 仕様

表 3.3.1 *仕様 赤外放射計 IR01*

IR01 仕様	
ISO / WMO 等級	適用外
応答時間 (95%)	18 s
ウィンドウ加熱オフセット(1000 W/m² 放射に対して)	< 15 W/m²
ゼロオフセット b (5 k/h 気温変化に対して)	<4 W/m²
安定性	< 1% 年間
リニアリティ	< ± 2.5%(-250～+250 W/m2 範囲 @150W/m2)
視野	150 度
スペクトル選択性	なし
温度応答 (50°C範囲)	6% 以内 (-10 to +40 °C)
傾き応答	< ± 2%
IR01 追加測定仕様	
感度	5 ～15 μV/Wm^{-2}
出力電圧	-5 ～ + 5 mV(-250～+250 W/m2 気象応用:)
センサ抵抗	100 ～ 400 Ω
電 源	不要 (受動型センサー)
レンジ	-1000～+1000 Wm^{-2}
測定波長範囲	4500 to 50000 nm (50% 透過ポイント)
プログラミング	Φ = U / E (本体温度に対する相対放射量：正味放射量算出の場合のみ使用)
	Φ = (U / E) + 5.67.10^{-8} T^4 (絶対放射量), T は Pt100 測定
日合計の精度	± 10%
校正	
校正トレーサビリティー	国際温度標準 ITS 90

4 設置

4.1 設置

表 4.1.1 *推奨設置方法 NR01 / RA01.*

設置場所	測定の場所は、特に NR01 による放射収支測定を行う場合、全体の地表面を代表する位置にしてください。 もしそれが実現できない場合、RA01 の使用を考慮してください。
機械的取付け	取付用パイプ直径： 最大 27 ㎜φ または 3/4 インチ NPS パイプ.
日射測定	太陽のコースと計器の間に影ができるような障害物は避けてください。
水準設定	付属の水準器にて、計器が水平に設置してください。水準器を見るためには、放射スクリーンを外す必要があります。 別途水準器を赤外放射計のウインドウに置いて水準をみることもできます。
方向	慣例として最も近い極側に配線してください。(北半球は北側、南半球は南側)
高さ	地上面から 1.5 メーターの高さが WMO により推奨されています。(良い空間的平均化を得るため)
傾き	NR01 は通常水平に設置されますが、応用として、傾斜設置も可能です。 すべてのケースにおいて、センサー表面と平行した面に入射したフラックスを測定します。

4.2 電気的接続

放射収支計 NR01 の測定をするためには、測定システム（通常データロガーと呼ばれます）に接続します。

NR01 は電源を必要としない、受動型センサーです。 しかし赤外放射計の接続部にはヒーターが搭載されており、結露防止のため利用することが可能です。Pt100 白金測温抵抗体温度センサーは一般的に 4 線接続されますか、3 線接続でも使用することができます。

ケーブルは一般的に静電容量性の雑音を拾うことによって、ひずみの源として作用します。 したがって、データロガーまたはアンプとセンサ間は、できる限り距離を短く保つことが推奨されます。 ケーブル延長に関しては、付録を参照してください。

表 4.2.1 *電気的接続 NR01 / RA01.*

RA01 2成分センサーには以下の表の下側センサー出力は接続されていません。

ケーブル 1

色	色	信号	極性	機器内部接続番号 (PCB04 のｹｰﾌﾞﾙ側番号)
	赤	日射計 上側	＋	2
	青	日射計 上側	－	1
	白	日射計 下側	＋	8
	緑	日射計 下側	－	7
	茶	赤外放射計 上側	＋	4
	黄	赤外放射計 上側	－	3
	桃	赤外放射計 下側	＋	6
	灰	赤外放射計 下側	－	5
	銀	グランド	グランド	１１， １２

ケーブル 2

色	色	信号	極性	機器内部接続番号 (PCB05 のｹｰﾌﾞﾙ側番号)
	赤	Pt100(A)	＋	2
	白	Pt100(A’)	＋	3
	青	Pt100(B)	－	4
	緑	Pt100(B’)	－	5
	茶	ヒーター	＋	1
	黄	ヒーター	－	6
	桃	未使用	グランド	9， １０
	灰	未使用	グランド	9， １０
	銀	グランド	グランド	9， １０

注意:

PCB04,05 とは、ｾﾝｻｰ内部にあるｹｰﾌﾞﾙ接続用基板です。

(1) 出力信号の＋とは、入力に対して方向です。すなわち上側のセンサーは空からの下向き放射に対して＋、下側センサーは地面からの上向き放射に対して＋となります。

(2) Pt100 の赤と白は同じ側に接続されています（両方+）

(3) Pt100 とヒーター極性（＋―）は重要ではありません

表 4.2.2 *NR01 の内部配線表（保守サービス用）*
RA01 の場合、下向きセンサーはありません
PCB 基板のｾﾝｻｰ側番号なので、表 4.2.1 とは異なります。

機器内部の基板上配線				
PCB04 ｾﾝｻｰ側番号	PCB04 接続信号	PCB05 ｾﾝｻｰ側番号	PCB05 接続信号	極性
3		8	赤外放射計上側	-
4		7	赤外放射計上側	+
5		12	赤外放射計下側	-
6		11	赤外放射計下側	+
13	日射計上側			+
14	日射計上側			-
9	日射計下側			+
10	日射計下側			-

4.3 放射スクリーンの設置

放射スクリーンは六角レンチを使うことにより、取り付け／取り外しができます（サイズ 2.0㎜）。下記図面を参照してください。 放射スクリーンは、測定精度および計器とケーブルの寿命のために有益です。また、雨-や雪よけとして役立ちます。 しかし、放射スクリーンが無い場合でも、仕様の範囲で計器は動作します。

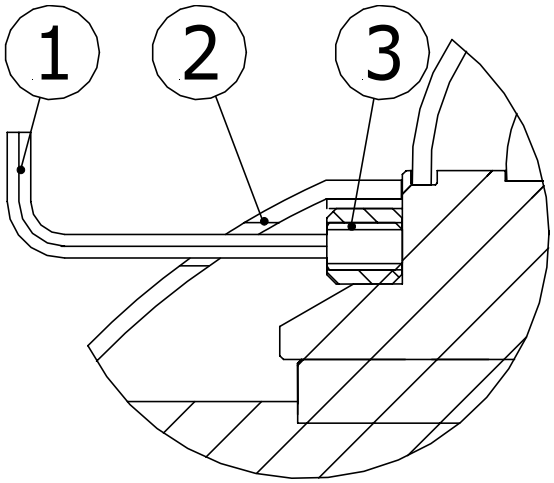


図 4.3.1 *放射スクリーンの取付および取外し：*
① 六角レンチ、 ② 放射スクリーン、 ③ 六角ネジ。

4.4 計器反転テスト

設置後、計器の反転テストを行うことをお勧めします。 このテストは単に、計器の位置（180 度回転）を逆にして、出力信号を調べます。 計器の出力は、上下のセンサー出力が逆になるはずです。
このテストは、晴天のできれば正午（太陽が高い位置にある）に行うことをお勧めします。 ±10%以内の差は許容範囲です。
赤外放射計の最適なテストのためには、このテストを晴れた夜にも繰り返し行ってください。

5 寸法

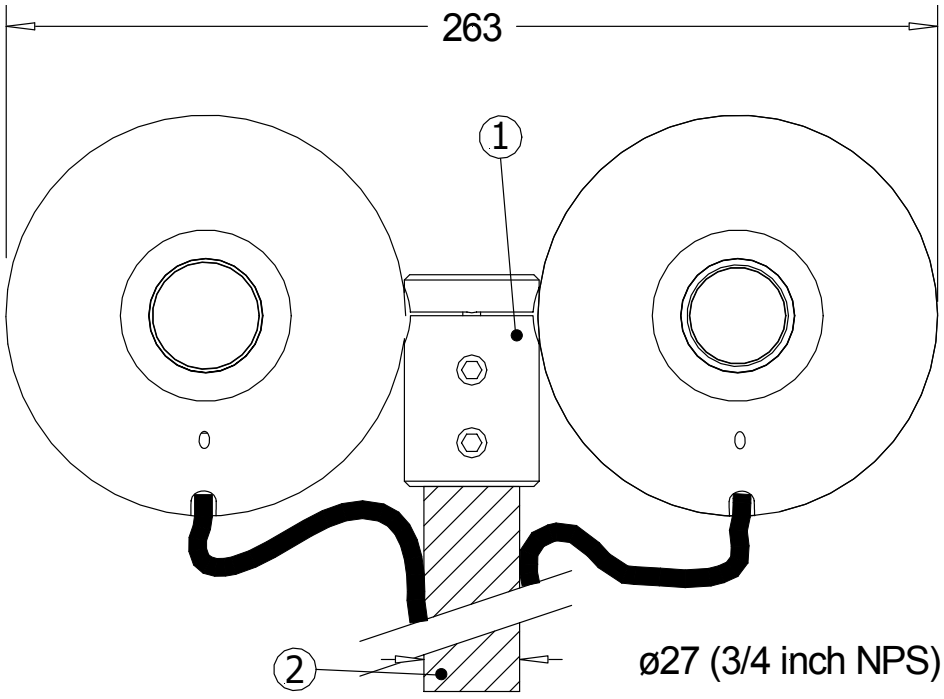


図 5.1 *NR01/RA01 寸法（mm）.*
① 2 軸水準調整器。② 設置棒（ロッド）; 付属品には含まれていません。

6 保守およびトラブルシューティング

6.1 保守

一度設置された NR01 および RA01 は、基本的にはメンテナンスフリーです。 通常、機能的な不具合は不当に大きいまたは小さい測定値に表れます。
一般的に、測定データの綿密なチェックが最も良い保守方法であることを意味します。

一定の間隔を置いてケーブルの品質をチェックしてください。

2 年毎に、屋内の施設で校正を行ってください。

表 6.1.1 *NR01 / RA01 推奨保守方法*

データの綿密なチェック
水またはアルコールによるドームの洗浄
ドーム内部の点検； 結露がないこと。
ケーブルの接続点検
NR01: センサー反転テスト 4.4 節を参照.
再校正:2 年毎に、通常、野外でより高い精度の準器との相互比較により行う

6.2 トラブルシューティング

本節では、センサーが正常に機能しない場合に診断するための情報提供します。結線表は、表 4.2.1 を参照してください。

表 6.2.1 *トラブルシューティング NR01 / RA01.*

センサ信号が無い	1.2 節の “計器の機能”を参照して、テストしてください。 一般に、エラーは、短絡または断線に起因しています。 どちらの場合もケーブルの両端でインピーダンス(抵抗)を測定することにより検出できます（信号出力の±）。抵抗が無限大（開回路）の場合：計器を開けて、内部の接続をチェックしてください（表 4.2.2 の配線表を参照）。また、接続が正常の場合、ケーブル断線をチェックしてください。
センサー信号が異常に高いまたは低い	正しい校正係数が使用されているかチェックしてください。 各センサーには、個々の校正係数があります。電圧の読取値が校正係数で割られているかチェックしてください。 ロガーへの結線状態をチェックしてください。 ケーブルの状態をチェックしてください。 定電圧発生装置の 1㎷ の値を印加して、データをチェックしてください。 4.4 節にて記述したセンサー反転テストを実行してください。 計器を開き、内部の接続をチェックしてください（表 4.2.2 の配線を参照） センサーケーブルに AC ケーブルやノイズ源となるケーブルが接していないかチェックしてください。
センサー信号がいちじるしく変動する	電磁放射の強い発信源がないかチェックしてください(レーダー、ラジオなど)。 シールドの状態をチェックしてください。 センサケーブルの状態をチェックしてください。 計器を開き、内部の接続をチェックしてください（表 4.2.2 の配線表を参照）

7 データ収集／増幅のための要件

表 7.1 *データ収集／増幅のための要件.*

4 チャンネルのマイクロボルト信号を測定する機能	推奨: 5 マイクロボルトの精度 必要最小限: 20 マイクロボルト精度（予想される全温度範囲ついて、データ収集／アンプの両方が上記精度であること）
Pt100 測温抵抗体測定機能（代案: 下記参照)	この場合、空温度および地表面温度を計算することができます（品質確保のために推奨されます）。
データロガーまたはソフトウェアの機能	データを格納したり、放射収支、アルベド等を計算するために感度で除算できる能力があるとなお良い
代案： ユーザー自身が持っている温度センサーを代替え使用する	ユーザーは標準の Pt100 の代わりにユーザー自身の温度センサーを実装することができます。 センサー筐体の横にセンサーが挿入できる穴があります。

8 付録

8.1 付録 ケーブル延長/交換

注意： NR01 および RA01 接続部には、新しいケーブルを内部接続するための接続端子台があります。 通常、標準ケーブルより長いケーブルを使用する場合、既存のケーブルを中間接続して延長するよりも、新しいケーブルを接続するほうが容易です。

NR01 は 2 本のケーブルを備えています。 データロガーまたはアンプとセンサ間は、できる限り短く保つことが推奨されます。 ケーブルは一般的に、静電容量性の雑音を拾うことによって、ひずみの源として作用します。 しかしながら、NR01 ケーブルは少しの問題もなく 50 メーターまで延長することができます。 延長した場合、センサ信号は小さいのですが、センサインピーダンスが非常に低いので、著しい減衰はありません。
ケーブルと接続仕様について以下に示します。

表 8.1.1 *NR01 ケーブル延長の仕様*

ケーブル	**8-線シールド，芯線：銅**
コア抵抗	**0.1 Ω/m 以下**
直径	**(推奨) 5.4 mm**
シート	**（推奨）ポリウレタン（野外使用で耐久性があるため）。**

8.2 付録 日射計の校正

世界放射基準(WRR)は、ＳＩ国際単位系で表された放射の測定標準です。 WRR は太陽放射測定の世界的な均質性を確立するために導入され、1980 年以来使用されています。WRR は 15 台の校正された絶対放射計から選ばれた一つのグループによって測定された値の加重平均から定義づけされます。
この推定精度はおよそ 0.3%です。 WMO は、1979 年に強制的な使用を導入しました。

放射測定の世界的な均質性はスイスのダボスにある世界放射センターによって保証されます、世界放射線ターは、WRR を実現する世界標準グループ(WSG)を維持しています。
http://www.pmodwrc.ch/

Hukseflux の標準器は野外の WRR にトレーサブルです（校正されている）。Hukseflux の校正条件にあわせるため、この校正値を若干修正しています: 天頂の太陽高度と 500W/m2 日射量に対する補正です。 (野外校正では、太陽は通常 20-40 度の天頂角、そして全日射量は 700W/m2。)

全天日射計の再校正は通常野外でリファレンス用全天日射計との比較により行われます。適用規格は ISO 9847：”国際規格-太陽エネルギーリファレンス用全天日射計との比較による野外全天日射計の校正。” です。
Hukseflux では、同じ規格に従った屋内の校正が使用されています。(ISO9060 規格の Appendix A で、説明されています)。

Hukseflux が推奨する再校正方法は、できれば屋内で放射条件の下で、同じ種類の基準計器と比較することです。

野外校正；ISO は、より高いクラスとの野外校正を推奨しています。 Hukseflux は、実際には条件により誤差が生じるので、この方法には同意しません。 セカンドクラスの全天日射計では特に、遠赤外線オフセットが誤差原因のほとんどです。 しかしながら、この誤差は太陽高度と青空の量によって大きく変化します。
したがって、同じブランド・タイプの全天日射計と比較することがより確実です。

第二に、ISO は、数日間の野外校正を行うよう推奨しています； 雲のない状態で 2-3 日間、曇天条件で 10 日間。 一般的に、これは達成可能ではありません。

野外での相互比較を行うため、Hukseflux の主な推奨方法を以下に示します；
1 同じブランドとタイプの全天日射計と比較する
2 電子機器の誤差(またはオフセット）を除去するため、両方とも同じ電子機器に接続する
3 望ましくは、センサーはを同じ温度条件にするため、同じプラットホームに取り付ける
4 電子機器が独自に校正されると仮定して：
4.1 可能な限り直達入射の放射量を見るようにする(可能であれば、ラジオメーターを傾ける)
4.2 もし、1 時間または１日の合計を比較するのが不可能であれば、
4.3 10 分の平均値を取って、2 つの信号間の相関関係を使用して相対的な校正値を決定してください。その信号はともに日射なしでゼロであると仮定します。
5 一般的に、セカンドクラスのラジオメーターに関して、±10%以上の変動値は修正されるべきです。 それ以下の変動値は許容範囲と解釈されます。
6 ファーストクラスの全天日射計では、リミットは±5%に設定されています。 それ以下の逸脱値は許容範囲と解釈されます。
7 準器（secondary standard）の全天日射計では、リミットは±2%に設定されています。

8.3 付録 赤外放射計の校正

フラットウィンドウ赤外放射計の校正には、公式な標準がありません。 ゆえに、フクセフルックス社製赤外放射計は、国際的な温度標準にトレースしています。フクセフルックス社は、赤外放射計を均質一定室温の黒体と比較校正します。

野外での赤外放射計の再校正は、一般的に、リファレンス用赤外放射計との比較により行われます。

1 まず第一に、Pt100 温度測定の精度が確保される必要があります。 経験則として、0.5°Cが測定エラーの最大許容範囲です。 センサーの温度測定エラーは、感度計算のエラーに直接的な結果を及ぼします。

野外で相互比較を行うため、フクセフルックス社の主な推奨方法を以下に示します:
2 同じブランドとタイプの赤外放射計と比較する（少なくともフラットウィンドウタイプ），
3 電子機器の誤差(またはオフセット）を除去するため、両方とも同じ電子機器に接続する，
4 望ましくは、計器を同じ温度条件にするため、同じ台に取り付ける，
5 電子機器が独自に校正されると仮定して、以下の内容が示されます:
5.1 空の温度がセンサー温度より 10°C以上低い状況にするため、晴天の状況で比較する，
5.2 1 時間または１日の合計を比較する，
5.3 10 分の平均値を取って、2 つの空温度の出力信号間における相関関係を使用して相対的な校正を決定してください，
6 一般的に、空の温度が継続的に 1°C以上異なる場合、修正されるべきです。それ以下は許容範囲です。

8.4 付録 キャンベルロガーとの使用方法

一般的に、4 線の Pt100 温度センサーは 4 線 Pt アダプタ 4WPB100 に接続します。 この接続には 2 つの差動チャンネルを必要とします。データロガー本体に接続する場合には、3 線接続も可能です(3WHB10K を使用)。3 線接続の精度はケーブルが短い場合には 4 線接続と同じで、１つの差動チャンネルを節約することができます。3 線接続の場合、余ったケーブルは他に接続せずに、余らしておきます（絶縁のためテープなどで保護する）。
ユーザー自身の温度センサーを使用することも可能です。赤外放射計のハウジングには、別の温度センサーが装備できる穴が側面にあります。 この穴を利用して、熱電対またはサーミスター温度センサーなどが利用可能です。

NR01 の 4 つのセンサー測定には 4 つの差動チャンネルを必要とします。

CR1000 用のプログラム例はフクセフルックス社または、購入店経由入手可能です。
以下の同様なセンサーのプログラムが使用可能です：
Kipp & Zonen: model CNR1
英弘精機: model MF11／ MR50

8.5 CE適合宣言

According to EC guidelines 89/336/EEC,

We: Hukseflux Thermal Sensors

Declare that the product: NR01

Is in conformity with the following standards:

Emissions:
Radiated: EN 55022: 1987 Class A
Conducted: EN 55022: 1987 Class B

Immunity:

ESD	**IEC 801-2; 1984**	**8kV air discharge**
RF	**IEC 808-3; 1984**	**3 V/m, 27-500 MHz**
EFT	**IEC 801-4; 1988**	**1 kV mains, 500V other**

Delft
May 2007